

**Применение методики «лестница задач» для оптимизации траектории выведения космического аппарата на целевую орбиту со сбросом дополнительного топливного бака и разгонного блока**

**Проскуряков Александр Игоревич**

*Студент*

Бакинский филиал Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова,

Баку, Азербайджан

*E-mail: ap\_91@mail.ru*

В работе рассматривается идея сокращения замусоренности околоземного пространства (относящаяся к группе «профилактика») за счет сброса отработавших частей средств выведения космического аппарата (КА) в атмосферу Земли на этапе выведения КА на геопереходную (целевую) орбиту.

Решаются задачи оптимизации траекторий выведения КА, оснащенного двигателем большой ограниченной тяги, с опорной круговой орбиты искусственного спутника Земли заданного радиуса и наклона на целевую эллиптическую орбиту. Учитывается влияние второй зональной гармоники. Первая серия маневров выведения КА на целевую орбиту осуществляется за счет топлива из дополнительного топливного бака (ДТБ). После отработки топлива из ДТБ, КА оказывается на орбите, касающейся условной границы атмосферы (с высотой перигея 100 км). На участке пассивного полета, продолжительностью 120 с, осуществляется сброс ДТБ. За счет дополнительного включения двигателя КА возвращается на «безопасную орбиту» (с высотой перигея 200 км). Это и последующие включения двигателя КА происходят за счет топлива из основного бака разгонного блока (РБ). После выполнения второй серии маневров КА оказывается на целевой орбите, такой что характеристическая скорость маневров довыведения с нее на геостационарную орбиту ограничена заданной величиной. В задачах максимизируется полезная масса, то есть масса спутника, оставшаяся на целевой орбите, после отстыковки РБ.

При построении экстремалей Понтрягина для рассматриваемых перелетов в задачах с большой ограниченной тягой применяется методика «лестница задач» [1], заключающаяся в последовательной формализации и решения серии задач с постепенным уточнением и усложнением постановки, с использованием полученных решений более простых задач для решения следующих по сложности в качестве начального приближения непосредственно или на основе метода продолжения решения по параметру.

На первом шаге была решена задача в апсидальной импульсной постановке, определены оптимальные схемы перелета с малыми накладными расходами на сброс в атмосферу. Далее была решена задача без априорного предложения об апсидальности импульсных воздействий. Было установлено, что в задаче с фазовым ограничением на максимально возможное удаление космического аппарата от Земли и неограниченном заранее времени перелета решения, полученные на первом и втором шагах, совпали. На третьем шаге рассматривалась задача в модифицированной импульсной постановке. В отличие от модели КА, состоящего из двух ступеней и спутника (рассмотренной на первых двух шагах), здесь предполагается, что КА состоит из РБ, ДТБ и спутника (как и в основной задаче с большой ограниченной тягой). Необходимость этого шага методики «лестница задач» связана с тем, что при прямом переходе от задачи в импульсной постановке из предыдущего шага к задаче с большой ограниченной тягой не удается построить экстремаль — модифицированный метод Ньютона не сходится. На последнем шаге была решена основная задача с большой ограниченной тягой и проведен анализ построенных экстремалей.

**Источники и литература**

- 1) Самохин А.С. Методика построения экстремалей Понtryгина в задачах сквозной траекторной оптимизации межпланетных перелетов с учетом планетоцентрических участков. Дис. канд. физ. матем. наук 01.02.01. М., 2021. 157 с.